

### *Библиографический список*

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Семенов Б.А., Хомякова О.П. Техничко-экономическая оптимизация теплозащиты наружных трубопроводов тепловых сетей // Проблемы энергетики. 2006. № 3-4. С. 61-71.
3. СП 41-103-2000 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2001. 42 с.
4. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численный анализ потерь тепла магистральными теплопроводами в условиях полного или частичного затопления // Инженерно-физический журнал. 2008. Т. 81. № 2. С. 303-311.
5. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В. Обследование технического состояния и реконструкция тепловой изоляции эксплуатируемых магистральных теплопроводов // Энергосбережение. 2002. № 3. С. 60-62.
6. Рахимова Ю.Н. Анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях деформации и нарушения целостности теплоизоляции // Современные техника и технологии: Материалы XVII междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: ТПУ, 2011. Т. 3. С. 257-258.

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ МАЗУТОПРОВОДОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ**

*Чернова М.В., Варфоломеева О. И., Хворенков Д. А., Попов Д. Н.  
Ижевский государственный технический университет  
tguug@istu.ru*

Во избежание застывания мазута в трубопроводах при его транспорте применяют паромазутопроводы, которые представляют собой систему параллельно проложенных в одной теплоизоляции трубопроводов, один из которых предназначен для транспорта мазута, а остальные являются паропроводами.

Конструктивные решения таких систем расчетами не практически не обосновываются, а принимаются по рекомендациям из справочной литературы. Отсутствие доступных инженерных методик не позволяет при заданных диаметре мазутопровода и марке мазута однозначно определить диаметр паропровода и толщину общей тепловой изоляции.

Целью работы является анализ конструктивных решений систем транспорта мазута с позиции снижения энергозатрат. Рассматривается два варианта прокладки мазутопроводов: с паропроводом-спутником и без него. Исследование проводится путем численного моделирования процессов гидродинамики и теплообмена в линейном участке трубопровода.

Решение задачи выполняется с помощью вычислительного программного комплекса FlowVision. Течение в трубе и теплообмен описываются системой дифференциальных уравнений, включающей уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости в трехмерной постановке:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \mu_t)(\nabla V + (\nabla V)^T)) + S; \quad \nabla V = 0,$$

а также уравнение энергии: 
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (Vh) = \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \left( \left( \frac{\lambda}{c_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \cdot \frac{\nabla h}{1} \right) + \frac{Q}{\rho}.$$

### Прокладка мазутопровода в тепловой изоляции без паропровода-спутника

Расчетная область представляет собой участок мазутопровода в виде сектора с углом раскрытия 90°, диаметром 50 мм и длиной 2 м.

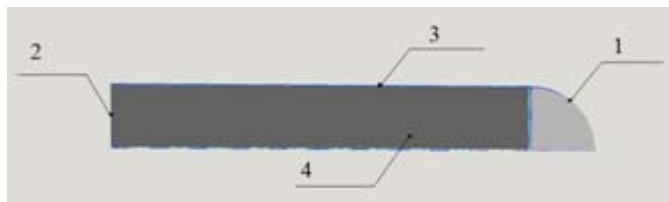


Рис. 1. Расчетная область трубы:

- 1 – вход потока;
- 2 – выход потока;
- 3 – стенка;
- 4 – симметрия.

Теплофизические свойства мазута заданы функциями от температуры. Использовались следующие начальные условия:  $t_{\text{нач}}=20\text{ °C}$ ;  $v=0\text{ м/с}$ ;  $P=101\text{ кПа}$ . Граничные условия приведены в табл. 1.

Таблица 1

Граничные условия для расчетной области без паропровода-спутника

Позиция по рис. 1	Тип границы	Граничные условия
1	Вход потока	температура на стенке 80 °C; скорость 0,0894 м/с (соответствует $Re=1000$ );
2	Выход потока	$\frac{dv}{dx} = 0$ ; $\frac{dt}{dx} = 0$ ;
3	Стенка	скорость 0 м/с; $\alpha_{\text{эkv}} (t_{\text{стенка}}^{\text{стенка}} - t_{\text{нар}}) = q_w$ ;
4	Плоскость симметрии	$\frac{dv}{dn} = 0$ ; $\frac{dt}{dn} = 0$ .

Термическое сопротивление стенки трубы с теплоизоляцией и теплообмен на наружной поверхности теплоизоляции учитывается эквивалентным коэффициентом теплообмена:

$$\alpha_{\text{эkv}} = \left( \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{теплоизол}}}{\lambda_{\text{теплоизол}}} \right)^{-1}.$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{\text{нар}}$  на границе 3 определялся путем решения критериального уравнения  $Nu=0,02 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr_{\text{жс}}/Pr_c)^{0,25}$ .

В результате решения были получены поля скорости (рис. 2) и температуры (рис. 3).

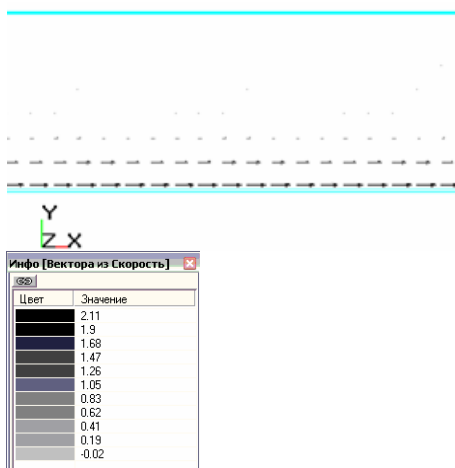


Рис. 2 Поле скорости в мазутопроводе

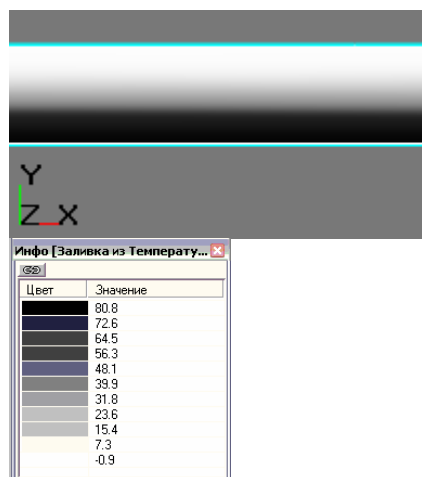


Рис. 3 Поле температуры в мазутопроводе

Из рис. 2 и 3 видно, что пристенная область имеет низкую температуру, и, как следствие, высокий коэффициент вязкости, что приводит к существенному торможению потока в этой зоне. При этом в центральной части мазутопровода наблюдается значительное увеличение скорости среды с переходом режима течения в турбулентный.

#### Прокладка мазутопровода с паропроводом-спутником в общей изоляции

Постановка данной задачи требует разработки двух расчетных областей, представленных на рис. 4. Расчетная область 1 – область течения мазута; расчетная область 2 – теплоизоляция (маты минераловатные). Теплофизические свойства мазута и теплоизоляции заданы функциями от температуры.

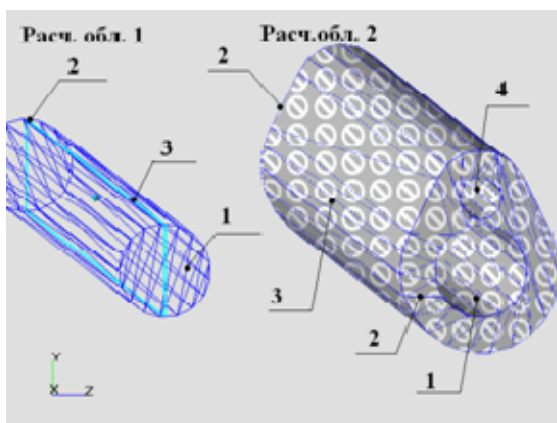


Рис. 4. Расчетные области мазутопровода со спутником.

Расчетная область 1: 1 – вход потока; 2 – выход потока; 3 – сопряжение с поверхностью 1 расчетной области 2; расчетная область 2: 1 – сопряжение с поверхностью 3 расчетной области 1; 2 – торец теплоизоляции; 3 – наружная стенка теплоизоляции; 4 – граница, сопрягаемая с паропроводом.

Использовались следующие начальные условия:  $t_{\text{нач}}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $v=0\text{ м/с}$ ;  $P=101\text{ кПа}$ . Граничные условия для рассматриваемых расчетных областей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Граничные условия для расчетных областей с паропроводом-спутником

Позиция по рис. 1	Тип границы	Граничные условия
Расчетная область течения мазута (расчетная область 1 на рис. 4)		
1	Вход потока	температура на стенке 80 °С; скорость 0,0894 м/с (соответствует Re=1000);
2	Выход потока	$\frac{dv}{dx} = 0$ ; $\frac{dt}{dx} = 0$ ;
3	Стенка (сопряженная с границей 1 расчетной области 2)	скорость 0 м/с; $t_{\text{маз}} _w = t_{\text{теплоизол}} _w$ ;
Расчетная область теплоизоляции (расчетная область 2 на рис. 4)		
1	Стенка (сопряженная с границей 3 расчетной области 1)	$t_{\text{теплоизол}} _w = t_{\text{маз}} _w$ ;
2	Торец теплоизоляции	$\frac{dt}{dx} = 0$ ;
3	Наружная стенка теплоизоляции	$\lambda \frac{dt}{dn} _w = \alpha_{\text{нар}} (t_{\text{стенка теплоизол}} - t_{\text{нар}})$ ;
4	Граница, сопрягаемая с паропроводом	$t_{\text{теплоизол}} _w = t_{\text{пар}} = 165 \text{ °С}$ .

В настоящее время ведется подготовка к численному эксперименту по моделированию течения мазута в общей изоляции с паропроводом-спутником.

### Библиографический список

1. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. М.: МЭИ, 2002. 612 с.
2. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. М.: Изд-во «Мир», 1964. 216 с.
3. СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Чечушков Д.А., Паниковская Т. Ю.  
УрФУ, Chechushkov@gmail.com

Для количественной оценки качества электрической энергии ГОСТ [1] регламентирует систему единичных или обобщенных показателей качества электрической энергии (ПКЭЭ). В результате снижение ПКЭЭ приводит к экономическому ущербу, который в целом по энергоснабжающим организациям и промышленным потребителям будет значительным [2].

В практике отечественной и зарубежной энергетики обычно считается, что на электрических станциях производится электрическая энергия достаточно высокого качества, а ухудшение КЭЭ происходит в процессе её передачи и потребления в результате влияния электрических приемников. Однако, часть авторов считает, что проектирование современных экономичных генераторов при